Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 2, Summer. 2019, p. 317-326

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸، ص. ۳۲۶-۳۱۷

تاثیر محلول‌پاشی با عناصر آهن و روی بر عملکرد و قابلیت فراهمی زیستی عناصر در ارقام گندم نان

منوچهر شیری[1*]، مرتضی کامرانی[2]، اصغر مهربان[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۲

چکیده

به‌منظور بررسی نقش کودهای نانو کلات آهن و روی بر عملکرد و غلضت عناصر دانه ارقام دیم گندم نان، آزمایشی در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مغان به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار به‌اجرا درآمد. عامل اول محلول‌پاشی در چهار سطح شامل شاهد و محلول‌پاشی با آهن، روی و آهن + روی بودند و عامل دوم ارقام در چهار سطح شامل دو رقم آفتاب (G1)، کریم (G2) و دو ژنوتیپ جدید (G3 و G4) بودند. غلظت محلول‌پاشی آهن و روی به‌ترتیب با نسبت ۲ و ۱/۵ در هزار در سه مرحله پنجه‌دهی، اوایل سنبله‌دهی و شیری بودن دانه‌ها صورت گرفت. ویژگی‌های مورد مطالعه شامل تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، تعداد دانه در سنبلچه، و وزن هزار دانه در سنبله اصلی، عملکرد دانه در متر مربع، غلظت روی، غلظت آهن، مقدار اسید فیتیک و نسبت مولی اسید فیتیک به روی و آهن دانه بودند. نتایج نشان داد که رقم G3 به‌همراه ژنوتیپ G2 و G4 نسبت به رقم G1 به‌طور معنی‌داری عملکرد بیشتر تولید کردند. این افزایش عملکرد عمدتاً به علت تعداد سنبلچه بیشتر، تعداد دانه در سنبلچه بیشتر و یا هر دو بود. ارقام G1 و G2 غلظت روی دانه بیشتری در مقایسه با ژنوتیپ‌های جدید داشتند. کمترین مقدار اسید فیتیک و نسبت مولی اسید فیتیک به روی و آهن در رقم G1 و بیشترین مقدار آنها در ژنوتیپ G4 حاصل شد. بیشترین عملکرد دانه در متر مربع (۴۰۰/۷ گرم)، غلظت روی دانه (۳۳/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) و غلظت آهن دانه (۸۷/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) به‌ترتیب با کاربرد برگی آهن + روی، روی و آهن حاصل شد. کاربرد روی در مقایسه با سایر سطوح محلول‌پاشی کمترین مقدار اسید فیتیک (۶۴۴۳/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) و نسبت مولی اسید فیتیک به روی (۱۹/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) را داشت. بنابراین، کاربرد عنصر آهن و به‌خصوص روی در مناطق دیم با بهبود قابلیت فراهمی زیستی آهن و روی و عملکرد گندم می‌تواند نقش زیادی در فراهمی عناصر روی و آهن مورد نیاز داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: اسید فیتیک، غلظت آهن، غلظت روی، محلول‌پاشی، نسبت مولی

مقدمه

سوء تغذیه ناشی از عناصر ریز مغذی، مثل جذب ناکافی آهن و روی، بیش از ۲ میلیارد نفر را در سراسر جهان به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه تهدید می‌کند (Stein, 2010). کودکان بیشتر تحت تاثیر این گرسنگی پنهان بوده و تقریباً ۱۱ درصد از مرگ و میر کودکان زیر ۵ سال مربوط به کمبود ریزمغذی‌ها است (Black *et al*., 2008).

در بسیاری از کشورهای آسیای مرکزی و خاورمیانه، گندم تقریباً ۵۰ درصد انرژی روزانه را فراهم می‌کند که این نسبت می تواند در مناطق روستایی به ۷۰ درصد افزایش یابد (Cakmak, 2008). ارقام جدید گندم با ظرفیت تولید بالا و منابع ضعیف از مواد مغذی، به‌ویژه روی (Zn) و آهن (Fe)، برای تأمین نیازهای روزانه انسان به‌طور وسیع کشت می‌شوند. گندم غنی از ترکیبات ضد تغذیه‌ای مانند اسید فیتیک است که باعث کاهش قابلیت دسترسی زیستی به آهن و روی در دستگاه گوارش انسان می‌شود (Welch and Graham, 2004). به‌طور کلی غلظت Zn و Fe دانه در ارقام گندم تجاری ۳۵-۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که برای تغذیه مناسب کافی نیستند (Cakmak *et al*., 2004). با توجه به تجزیه ۵۰ هزار نمونه‌های خاک، تخمین زده شد که ۸۰ درصد خاک‌های زراعی ایران به طور بالقوه دچار کمبود روی هستند (Malakouti, 2007). در مطالعه دیگری در اراضـی تحـت کشت گندم در ایران، ۳۷ درصد دچار کمبود شدید آهن و ۴۰ درصد دچار کمبود شدید روی گزارش شده است (Dorostkar, *et al*., 2013).

غنی‌سازی دانه‌های غلات با مواد معدنی ضروری که در رژیم غذایی کمبود دارند، به‌عنوان یک راه‌حل پایدار پیشنهاد شده است (Bouis and Welch, 2010; Ficco *et al*., 2009). این امر مستلزم دست‌یابی به عملکرد بالای دانه به همراه افزایش غلظت مواد

۱- استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
۲- دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
۳- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات، آمـوزش و تـرویج کشـاورزی اسـتان اردبیـل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Shiri.m@uma.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v17i2.74778

معدنی در آن می‌باشد (Morris and Sands, 2006). برگ‌پاشی کود از مؤثرترین روش‌ها برای غنی‌سازی مواد مغذی ضروری است و در حال حاضر بیشترین مطالعات بر روی جذب و توزیع مواد مغذی در ذرت و گندم متمرکز شده است (Kaya and Higgs, 2002; Godsey *et al*., 2003). روی جزء ساختاری آنزیم‌های مختلف است و یا برای فعال شدن آنزیم مورد نیاز است. بنابراین، کمبود آن متابولیسم کربوهیدرات‌ها را تحت تاثیر قرار داده، به ساختار دانه‌های گرده آسیب زده و عملکرد را کاهش می‌دهد (Pandey *et al*., 2006; Fang *et al*., 2008). کمبود آهن منجر به بروز زردی برگ (Mahmoudi *et al*., 2005) کـاهش وزن خشـک بخـش هـوایی (Cakmack and Braun, 2001) و سایر عناصر غذایی در بافت‌های گیاهی (Chen *et al*., 2004) می‌شود که این صـفات ارتباط نزدیکی با عملکرد گیاهان زراعـی دارنـد. مصرف عناصر ریزمغذی آهن و روی باعث افزایش عملکرد دانه و کاه گندم می‌شود (Ziaeian and Malakouti, 2002). محققان گزارش کردند که محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی در مرحله پنجه‌زنی و یا مرحله آبستنی و شیری، عملکرد دانه گندم را از طریق افزایش ارتفاع بوته، تعداد دانه در هر سنبله و وزن هزار دانه افزایش می‌دهد (Hussain *et al*., 2005). در تحقیقی، ارقام گندم نسبت به کاربرد روی از نظر عملکرد عکس‌العمل متفاوتی نشان دادند (Khoshgoftarmanesh *et al*., 2005). به علت افزایش غلظت روی دانه در اثر محلول‌پاشی روی به‌خصوص در خاک‌های فقیر از نظر روی (Habib, 2009) قابلیت فراهمی زیستی روی (Zhang *et al*., 2012) افزایش می‌یابد. کاربرد آهن نیز منجر به افزایش غلظت آن در دانه گندم می‌شود (Habib, 2009; Pahlavan-Rad and Pessarakli, 2009).

هدف از این تحقیق بررسی احتمال افزایش عملکرد و غلظت عناصر روی و آهن و در نتیجه بهبود قابلیت فراهمی زیستی آهن و روی دانه گندم نان در پاسخ به نانو کودهای آهن و روی بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه دیم مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مغان به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. نتایج آزمون خاک در جدول ۱ آورده شده است. عامل اول محلول‌پاشی در چهار سطح شامل شاهد و محلول‌پاشی با آهن، روی و آهن + روی بودند و عامل دوم ارقام مختلف گندم دیم نان در چهار سطح شامل دو رقم آفتاب (G1)، کریم (G2) و دو ژنوتیپ جدید (G3 و G4) بودند. در جدول ۲ شجره و کد این ارقام درج شده است. داده‌های هواشناسی در جدول ۳ آورده شده است. هر کرت آزمایشی شامل شش ردیف ۵ متری با فاصله ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۳۰۰ بذر در متر مربع بود که بذرها پس از ضدعفونی با قارچ‌کش کاربوکسین‌تیرام ۲ در هزار با دستگاه بذرکار تمام اتوماتیک (وینتر اشتایگر، ساخت اتریش) در عمق ۵ تا ۷ سانتی‌متری و در تاریخ پانزدهم آبان ماه کشت شدند. میزان ۵۰ کیلوگرم کود فسفات آمونیم و ۵۰ کیلوگرم کود اوره قبل از کاشت استفاده شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک (عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری)
Table 1- Soil analysis results (depth 0 to 30 cm)

پتاسیم $K_{ava.}$ (ppm)	فسفر $P_{ava.}$ (ppm)	نیتروژن N_t (%)	کربن آلی OM (%)	هدایت الکتریکی EC ($ds.m^{-1}$)	اسیدیته pH	روی Zn (ppm)	آهن Fe (ppm)	منگنز Mn (ppm)	مس Cu (ppm)
307	23.6	0.01	0.98	0.79	7.9	0.45	5.6	3.2	0.21

جدول ۲- پدیگری (شجره) ژنوتیپ‌های کشت شده در آزمایش
Table 2- Pedigree of genotypes cultivated for the experiment

Genotype No	Variety / Line
G1	AFTAB
G2	KARIM
G3	KS82142/2*WBLL1CMSA01Y00397T-040M-040P0Y-040M-030ZTM-040SY-21M-0Y-0SY
G4	PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/WBLL1PTSS02Y00023S-0Y-030ZTM-040SY-040M-19Y-0M-0SY

کودهای نانو کلات روی و آهن شرکت خضرا به‌ترتیب با نسبت ۱/۵ و ۲ در هزار در سه مرحله پنجه‌دهی، اوایل ظهور سنبله و شیری بودن دانه‌ها، بر اساس توصیه روی بسته کود، محلول‌پاشی شد. در هر مرحله محلول‌پاشی، برای تیمارهای آهن، روی و آهن + روی به‌ترتیب ۲ کیلوگرم کود آهن، ۱/۵ کیلوگرم کود روی و ۲ کیلوگرم کود آهن + ۱/۵ کیلوگرم کود روی در هکتار بود.

جدول ۳- شرایط هواشناسی در طول آزمایش
Table 3- Meteorological conditions during the experiment

ماه Month	تبخیر و تعرق ET (mm)	رطوبت نسبی RH	متوسط دما Mean temperature (C°)	بارندگی Rain (mm)
مهر	37.9	79	17	75.8
آبان	36.9	81.9	11.1	38.6
آذر	7.4	79.3	6.5	39
دی	-	84.8	4.8	41
بهمن	-	80.7	4.3	27.1
اسفند	-	81.7	9.7	19.6
فروردین	47.1	78.3	12.4	39.5
اردیبهشت	129.2	74.3	18.1	29.3
خرداد	193.8	65	23.4	44.1

صفات تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، تعداد دانه در سنبلچه، و وزن هزار دانه در سنبله اصلی، عملکرد دانه در متر مربع، غلظت روی، غلظت آهن، مقدار اسید فیتیک و نسبت مولی اسید فیتیک به روی و آهن دانه بررسی شدند. بعد از شستن نمونه‌ها، دانه‌ها در دمای ۷۰ درجه به مدت ۲ ساعت خشک شدند. بعد از آسیاب شدن از الک ۱ میلی‌متری عبور داده شدند تا نمونه آزمایشگاهی آماده شد. همه نمونه‌های آرد با استفاده از ترکیب اسید نیتریک و کلریدریک هضم شدند. اندازه‌گیری عناصر Fe و Zn با کمک دستگاه جذب اتمی مدل Shimdzu, AA-6300 به‌ترتیب در طول موج‌های ۲۴۸/۳ و ۲۳۳/۹ نانومتر صورت گرفت. اندازه‌گیری اسیدفیتیک دانه به روش هوگ و لانتزچ صورت گرفت (Haug and Lantzsch, 1983). نسبت مولی اسید فیتیک به روی و آهن از طریق فرمول زیر محاسبه شد (Karami *et al*., 2013)

(۱) (وزن مولی عنصر/غلظت عنصر در دانه (میلی‌گرم))/(وزن مولی اسید فیتیک/غلظت اسید فیتیک (میلی‌گرم))= نسبت مولی

پیش از تجزیه واریانس، آزمون نرمال بودن داده‌ها و یکنواختی واریانس تیمارها نشان داد که داده‌ها نرمال و واریانس تیمارها یکنواخت هستند. محاسبات آماری و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

تعداد سنبلچه

اثر محلول‌پاشی و ارقام بر تعداد سنبلچه در سنبله معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسات میانگین‌ها (جدول ۵) نتایج نشان داد که سطح شاهد محلول‌پاشی کمترین تعداد سنبلچه در سنبله را تولید کرد. محلول‌پاشی با آهن، محلول‌پاشی با روی و محلول‌پاشی با آهن + روی نسبت به شاهد تعداد سنبلچه در سنبله را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند. در این بین، بیشترین تعداد سنبلچه در سنبله را محلول‌پاشی با آهن + روی داشت که اختلاف معنی‌داری با محلول‌پاشی با روی نداشت. کمترین تعداد سنبلچه در سنبله مربوط به رقم G1 بود و بقیه ارقام نسبت به آن به‌طور معنی‌داری تعداد سنبلچه بیشتری را تولید کردند. در تحقیقی، با محلول‌پاشی عناصر غذایی بر گندم مشخص شد که در بین عناصر ریزمغذی بیشترین تعداد سنبلچه در سنبله مربوط به تیمار روی بود (Seadh *et al*., 2009). در گزارش دیگری هم اثر مثبت مصرف کود روی بر تعداد سنبلچه در سنبله نشان داده شده است (Khan *et al*., 2008). مطالعه‌ای نشان داد که بیشترین تعداد سنبلچه در ترکیب عناصر ریز مغذی حاصل شد و بین ارقام تفاوت معنی‌داری وجود داشت (Mekkei and El-Haggan, 2014).

تعداد دانه در سنبله

نتایج نشان داد که سطح شاهد محلول‌پاشی کمترین تعداد دانه در سنبله را تولید کرد. محلول‌پاشی با آهن، محلول‌پاشی با روی و محلول‌پاشی با آهن + روی نسبت به شاهد تعداد دانه در سنبله را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند. محلول‌پاشی با آهن + روی نسبت به همه سطوح دیگر به‌طور معنی‌داری تعداد دانه در سنبله بیشتری تولید کرد. در بین ارقام، کمترین و بیشترین تعداد دانه در سنبله به‌ترتیب مربوط به رقم G1 و ژنوتیپ G3 بود و رقم G2 و ژنوتیپ G4 حد واسط دو رقم ذکر شده بودند (جدول ۴).

در آزمایشی بیشترین تعداد دانه در هر سنبله با محلول‌پاشی روی بر گندم حاصل شد (Seadh *et al*., 2009). ولی مطالعه دیگری بیشترین تعداد دانه را در کاربرد تلفیقی ریزمغذی‌ها (Mekkei and El-Haggan, 2014) و برخی محققان بیشترین تعداد دانه را با کاربرد برگی و تلفیقی آهن و روی گزارش کردند (Abu-Dahi *et al*., 2009). اختلاف معنی‌داری بین ارقام از نظر تعداد دانه در سنبله

گزارش شده است (Mekkei and El-Haggan, 2014). عنصر روی به علت تاثیر مثبت بر تشکیل پرچم و دانه گرده تعداد دانه در سنبله را افزایش می‌دهد (Pandey *et al.*, 2006). همچنین با افزایش سنتز کلروفیل (Mahmoudi *et al.*, 2005) و درنتیجه فتوسنتز می‌تواند محدودیت ماده فتوسنتزی را کمتر کند و بنابراین افزایش تعداد دانه را موجب شود.

جدول ٤- تجزیه واریانس صفات تحت اثر محلول‌پاشی و ارقام گندم

Table 4- Analysis of variance of traits under Spraying and wheat cultivars

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	MS میانگین مربعات تعداد سنبلچه در سنبله Spikelet numbers/	تعداد دانه در سنبله Grain number/ spike	تعداد دانه در سنبلچه Grain number/ spikelet	عملکرد دانه در متر مربع Grain yield/m^2	وزن هزاردانه Thousands grain weight
بلوک Replication	2	2.7	133.1	0.31	6581.3	0.7
محلول‌پاشی Spraying (A)	3	19.3**	317.5**	0.16	14681.8**	7.5^{ns}
ارقام Cultivars (B)	3	5.3*	549.6**	1.20**	23562.2**	10.2^{ns}
A× B	9	0.48	1.2	0.01	2143.3	1.2
اشتباه آزمایشی Experimental error	30	1.2	14.8	0.13	1201.5	4.3
ضریب تغییرات C.V (%)		6.8	9.0	14.3	9.6	4.8

** و * به‌ترتیب غیر معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد

** and * are significant at 1% and 5% probability levels, respectively.

جدول ٥- اثر ژنوتیپ‌ها و محلول‌پاشی بر وزن هزار دانه، عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبلچه، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبلچه

Table 5- The effect of genotypes and foliar spraying on thousands grain weight, grain yield, grain number per spikelet, grain number per spike and spikelet numbers

		تعداد سنبلچه Spikelet numbers	تعداد دانه در سنبله Grain number/ spike	تعداد دانه در سنبلچه Grain number/ spikelet	عملکرد دانه در متر مربع Grain yield/m^2 (gr)	وزن هزاردانه Thousands grain weight (gr)
ارقام Cultivar ژنوتیپ‌ها Genotypes	G1	15.43b	32.77c	2.16c	319.6c	42.55a
	G2	16.69a	44.27b	2.64ab	370.6b	44.05a
	G3	16.72a	48.62a	2.92a	391.9a	42.14a
	G4	16.85a	43.99b	2.61b	364.6b	43.76a
محلول‌پاشی Spraying	شاهد (control)	14.83c	36.19c	2.45a	316.6c	42.13a
	آهن (Fe)	16.09b	40.97b	2.55a	371.4b	42.98a
	روی (Zn)	16.99ab	44.12b	2.60a	356.9b	43.37a
	آهن + روی (Fe+Zn)	17.79a	48.38a	2.74a	400.7a	44.03a

میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with the same letter are not significantly different based on Duncan test (p≤0.05).

تعداد دانه در سنبلچه

مقایسات میانگین‌ها نشان داد که سطوح محلول‌پاشی اثری بر تعداد دانه در سنبلچه نداشت. کمترین تعداد دانه در سنبلچه مربوط به رقم G1 بود و ژنوتیپ G3، که اختلاف معنی‌داری با رقم G2 نداشت، نسبت به آن به‌طور معنی‌داری تعداد دانه در سنبلچه بیشتری را تولید کردند. ژنوتیپ G4 کمترین مقدار را داشت (جدول ۴). تحقیقی نشان داد که استفاده از محلول غذایی برای گندم عملکرد دانه را افزایش داد ولی بر تعداد دانه در سنبلچه بی‌تاثیر بود (El Habbasha, 2013).

عملکرد دانه در متر مربع

نتایج نشان داد که کمترین عملکرد دانه در سطح شاهد محلول‌پاشی و بیشترین مقدار عملکرد در سطح محلول‌پاشی توام با آهن + روی حاصل شد. تفاوت معنی‌داری بین محلول‌پاشی با آهن و محلول‌پاشی با روی وجود نداشت. در بین ارقام، کمترین عملکرد دانه مربوط به رقم G1 و بیشترین مقدار مربوط به ژنوتیپ G3 بود. رقم G2 به همراه ژنوتیپ G4 نسبت به رقم G1 به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه بیشتری را تولید کردند ولی اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود نداشت (جدول ۴). گزارش دادند که محلول‌پاشی گندم و ذرت با عناصر ریز مغذی روی موجب افزایش عملکرد دانه در هر دو گیاه گندم و ذرت گردید (Ali *et al*., 2008). اثر مثبت عنصر روی بر عملکرد دانه گیاهان توسط محققان مختلف گزارش شده است (Daghan *et al*., 2013; Cakmak *et al*., 2010; Zou *et al*., 2012). عنصر روی به علت نقش مثبت در تولید کلروفیل بر فتوسنتز و تولید ماده آلی تاثیر مثبت دارد و از طریق تولید هورمون ایندول استیک اسید نیز بهبود رشد و افزایش ارتفاع را سبب می‌شود. از طرفی با بهبود تولید دانه گرده می‌تواند تعداد دانه بیشتری را به‌عنوان مخزن مواد فتوسنتزی ایجاد نماید. بنابراین با افزایش مخزن و منبع عملکرد دانه را افزایش می‌دهد. افزایش عملکرد در اثر کاربرد آهن نیز در تحقیقات مشخص شده است (Ali, 2012; Ziaeian and Malakouti, 2001). در تحقیقی، کاربرد برگی و تلفیقی آهن و روی را در افزایش تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه موثر دانستند (Abu-Dahi *et al*., 2009). مطالعه‌ای نشان داد که ارقام گندم نسبت به کاربرد سولفات روی از نظر عملکرد عکس‌العمل متفاوتی دارند (Khoshgoftarmanesh *et al*., 2005). محققان گزارش کردند که محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی در مرحله پنجه‌زنی و یا مرحله آبستنی و شیری، عملکرد دانه گندم را از طریق افزایش ارتفاع بوته، تعداد دانه در هر سنبله و وزن هزار دانه (Hussain *et al*., 2005) و تعداد سنبله در واحد سطح (Ziaeian and Malakouti, 2002) افزایش می‌دهد.

غلظت روی دانه

اثر اصلی ژنوتیپ‌ها و محلول‌پاشی بر غلظت روی دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۶). نتایج مقایسات میانگین‌ها نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها اختلاف آماری معنی‌داری وجود دارد. ژنوتیپ G3 کمترین غلظت روی دانه را داشت و نسبت به ژنوتیپ G4 به‌طور معنی‌داری مقدار روی کمتری در دانه خود ذخیره کرده بود. ارقام G1 و G2 نسبت به هر دو ژنوتیپ به‌طور معنی‌داری غلظت روی دانه بیشتری داشتند. عدم کاربرد برگی عناصر ریزمغذی کمترین و محلول‌پاشی روی بیشترین مقدار غلظت روی دانه را موجب شدند. مقدار غلظت روی دانه به هنگام محلول‌پاشی با آهن و آهن + روی به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد و کمتر از محلول‌پاشی با روی بود (جدول ۶). گزارش شده است که ارقام مدرن با پتانسیل بالای عملکرد منابع ضعیفی از ریزمغذی‌ها، به‌خصوص آهن و روی، برای تأمین نیاز روزانه انسان هستند (Welch and Graham, 2004). تغییرات قابل توجهی در غلظت روی و آهن دانه در بین ارقام گیاهان زراعی اصلی نیز گزارش شده است (White and Broadley, 2009). تحقیقات جدید فرضیه رقیق شدن عناصر ریز مغذی در طول زمان در ارقام گندم را تأیید می‌کند (Fan *et al*., 2008). تفاوت در مقدار روی دانه در بین ارقام و ژنوتیپ‌های گندم به‌وسیله رجبی نیز گزارش شده است (Rajabi, 2015). افزایش غلظت روی دانه با کاربرد روی به‌وسیله محققان مختلف ثابت شده است (Cakmak, 2008; Hossain *et al*., 2008; Shivay *et al*., 2008).

غلظت آهن دانه

اثر اصلی ژنوتیپ‌ها و محلول‌پاشی بر غلظت روی دانه معنی‌دار شد (جدول ۶). نتایج مقایسات میانگین‌ها نشان داد که کمترین غلظت آهن دانه را ژنوتیپ G4 داشت. ژنوتیپ G3 بیشترین مقدار آهن دانه را در دانه‌های خود ذخیره کرده بود و با ارقام G1 و G2 اختلاف غیرمعنی‌داری داشت. کاربرد برگی عنصر روی کمترین غلظت آهن دانه را داشت که با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین مقدار آهن دانه به هنگام کاربرد برگی آهن حاصل شد که با کاربرد آهن + روی از لحاظ آماری یکسان بود (جدول ۷). برخی محققان گزارش کردند که بین ارقام گندم از نظر مقدار آهن دانه تفاوت وجود دارد (Welch and Graham, 2004; White and Broadley, 2009). کاهش غلظت آهن دانه در ارقام مدرن مورد تأکید واقع شده است (White and Broadley, 2009; Fan *et al*., 2008). تفاوت در مقدار آهن دانه در بین ارقام و ژنوتیپ‌های گندم به‌وسیله رجبی نیز گزارش شده است (Rajabi, 2015). محققان مختلف (Zhang *et al*., 2010; Pahlavan-Rad and Pessarakli, 2009) افزایش غلظت آهن دانه با کاربرد برگی آهن را نشان داده‌اند.

جدول ٦- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی و ارقام گندم بر صفات کیفی

Table 6- Analysis of variance of spraying and wheat cultivars on quality traits

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS				
		غلظت روی Zn concentration	غلظت آهن Fe concentration	اسید فیتیک Phitic acid (PA)	نسبت مولی اسید فیتیک به روی PA/Zn molar ratio	نسبت مولی اسید فیتیک به آهن PA/Fe molar ratio
بلوک Replication	2	5.05	576.3	6986349.3	47.1	0.73
محلول‌پاشی Spraying (A)	3	2874**	302.9**	4194456.2**	100.8**	4.15**
ارقام Cultivars (B)	3	10.38**	106.4*	9676922.8**	131.1**	15.5**
A× B	9	0.006	0.009	8209.6	0.39	1.016
اشتباه آزمایشی Experimental error	30	0.58	37.35	384086.6	4.82	0.86
ضریب تغییرات C.V		2.3	7.4	8.6	9.8	12.6

** و * به‌ترتیب غیر معنی داری، معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد

** and * are significant at 1% and 5% probability levels, respectively.

جدول ۷- اثر ژنوتیپ‌ها و محلول‌پاشی بر غلظت روی، غلظت آهن، اسید فیتیک، نسبت مولی اسید فیتیک به روی و نسبت مولی اسید فیتیک به آهن

Table 7- The effect of genotypes and foliar spraying on Zn concentration, Fe concentration, PA, PA/Zn molar ratio and PA/Fe molar ratio

		غلظت روی Zn concentration (mg kg^{-1})	غلظت آهن Fe concentration (mg kg^{-1})	اسید فیتیک PA (mg kg^{-1})	نسبت مولی اسید فیتیک به روی PA/Zn molar ratio	نسبت مولی اسید فیتیک به آهن PA/Fe molar ratio
ارقام Cultivar ژنوتیپ‌ها Genotypes	G1	33.05a	83.36ab	5960.4c	17.9c	6.0c
	G2	32.61a	82.83ab	7043.2b	21.4b	7.1b
	G3	30.98c	85.39a	7515.8b	24.1a	7.4b
	G4	31.68b	78.39b	8076.7a	25.3a	8.8a
محلول‌پاشی Spraying	شاهد (control)	29.88c	80.95bc	7854.6 a	26.1a	8.2a
	آهن (Fe)	32.70b	87.46a	7311.9b	22.2b	7.2b
	روی (Zn)	33.47a	76.12c	6443.5c	19.1c	7.1b
	آهن + روی (Fe+Zn)	32.27b	85.36ab	6986.2b	21.4b	6.9b

میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with the same letter are not significantly different based on Duncan test (p≤0.05).

فیتیک اسید دانه

نتایج نشان داد که رقم G1 کمترین فیتیک اسید و ژنوتیپ G4 بیشترین مقدار را در دانه داشتند. رقم G2 و ژنوتیپ G3 تفاوت معنی‌داری نداشته و حدواسط G1 و G4 بودند. کاربرد برگی آهن، آهن + روی و روی نسبت به شاهد مقدار فیتیک اسید را به‌طور معنی‌داری کاهش دادند و بیشترین کاهش زمانی مشاده شد که برگ‌پاشی روی صورت گرفته بود (جدول ۷). کاربرد روی و آهن باعث کاهش مقدار فسفر دانه می‌گردد و در این بین اثر روی بیشتر از آهن بوده و توانسته مقدار فسفر دانه را بیشتر کاهش دهد. بنابراین مقدار فیتیک اسید با کاربرد روی بیشتر کاهش یافته است. چرا که بیشترین مقدار فسفر در فیتیک اسید پیوند می‌خورد و رابطه مستقیمی بین فسفر دانه و مقدار اسید فیتیک وجود دارد (Malakouti, 2007; Malakouti *et al*., 2008). غنی‌سازی دانه با ریز مغذی‌ها در مزرعه می‌تواند غلظت روی دانه را افزایش و مقدار فیتیک اسید را کاهش دهد (Malakouti, 2011). کاهش مقدار فیتیک اسید در اثر کاربرد روی به‌وسیله محققان دیگر گزارش شده است (Malakouti *et al*., 2010; Malakouti, 2010). در تحقیقی نشان داده شد که با افزایش

۱۰۰۰ میلی‌گرم فیتات به یک ماده غذایی، میزان نیاز بدن انسان به روی به دو برابر و با افزایش ۲۰۰۰ میلی‌گرم به همین ماده غذایی، نیاز روزانه بدن به روی تا سه برابر افزایش می‌یابد (Hambidge *et al*., 2008). بنابراین با مصرف روی و کاهش فیتیک اسید به مقدار ۱۴۱۱ میلی‌گرم نسبت به شاهد ملاحظه می‌شود که نیاز روزانه به روی به ۱/۵ برابر آن در شاهد کاهش می‌یابد.

نسبت مولی اسید فیتیک به روی

اثر ارقام و سطوح تیمار محلول‌پاشی بر نسبت مولی اسید فیتیک به روی معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های G3 و G4 نسبت به رقم G2 به‌طور معنی‌داری نسبت مولی بیشتری داشتند. رقم G1 کمترین نسبت مولی را در بین ارقام نشان داد. به این ترتیب ملاحظه می‌شود که ژنوتیپ‌های جدید در مقایسه با ارقام محلی نسبت مولی بالایی دارند (جدول ۷). تفاوت در مقدار نسبت مولی فیتیک اسید به روی در بین ارقام و ژنوتیپ‌های گندم گزارش شده است (Rajabi, 2015). در بین سطوح تیمار محلول‌پاشی، شاهد در مقایسه با بقیه تیمارها به‌طور معنی‌داری بیشترین نسبت مولی را داشت و محلول‌پاشی با آهن و آهن + روی مقدار نسبت مولی را کاهش داد. کاربرد نانو کلات روی در مقایسه با سایر سطوح محلول‌پاشی به‌طور معنی‌داری نسبت مولی را کاهش داد (جدول ۶). اسید فیتیک شکل اصلی ذخیره فسفر در دانه است (Sandberg, 2002) که به صورت ترکیبی از نمک‌های فیتات آهن، روی، کلسیم، منیزیم و پتاسیم مشاهده می‌شود (Doria *et al*., 2009). قابلیت جذب و استفاده از این عناصر را به‌واسطه ایجاد پیوند قوی به شدت کاهش داده و سبب اختلال در جذب و هضم آن‌ها در دستگاه گوارش انسان می‌شود (Prasad, 2003). نسبت مولی اسید فیتیک به روی و آهن در بخش‌های خوراکی گیاهان، به‌عنوان شاخصی مناسب از قابلیت جذب آنها شناخته می‌شود. اگر مقدار این نسبت کمتر باشد نشان‌دهنده آن است که عناصری مثل آهن، روی قابلیت جذب زیستی بهتری خواهند داشت (Boscher *et al*., 2001). در تحقیق حاضر کاربرد روی باعث افزایش مقدار آن در دانه و کاهش نسبت مولی فیتیک اسید به روی شده است که با یافته‌های برخی محققان (Kaya *et al*., 2009; Ning *et al*., 2009) مطابقت دارد. برای جذب بهتر روی این نسبت باید کمتر از ۲۵ باشد. در ارقام G1 و G2 که نسبت مولی به‌ترتیب ۱۷/۹ و ۲۱/۴ است در مقایسه با ژنوتیپ‌های جدید که نسبت مولی ۲۴/۱ و ۲۵/۳ است، جذب روی بهتری خواهند داشت. تیمارهای محلول‌پاشی به‌خصوص کاربرد روی باعث کاهش این نسبت به کمتر از ۲۵ شده و درنتیجه از نظر قابلیت فراهمی زیستی مناسب‌تر است.

نسبت مولی اسید فیتیک به آهن

رقم G1 کمترین نسبت فیتیک اسید به روی و ژنوتیپ G4 بیشترین مقدار را نشان داد. رقم G2 به همراه ژنوتیپ G3 حدواسط بودند. همه تیمارهای محلول‌پاشی در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری نسبت مولی فیتیک اسد به آهن کمتری داشتند. با این حال تفاوت بین تیمارهای آهن، روی و آهن + روی غیر معنی‌دار بود (جدول ۷). علت این کاهش به افزایش غلظت آهن و کاهش غلظت فیتیک اسید در تیمارهای آهن، آهن + روی و به‌خصوص روی مربوط است. ارقام و ژنوتیپ‌هایی با نسبت مولی بالا دارای غلظت فیتیک اسید کمتر و آهن بیشتر بودند. کاهش نسبت مولی فیتیک اسید به آهن با کاربرد روی گزارش شده است (Shivay *et al*., 2008).

نتیجه‌گیری

عملکرد بالای ژنوتیپ‌ها به علت تعداد سنبلچه بیشتر، تعداد دانه در سنبلچه بیشتر و یا هردو حاصل شد. ژنوتیپ‌های جدید نسبت به دو رقم دیگر غلظت روی کم داشتند. همچنین، ژنوتیپ‌های جدید نسبت مولی فیتیک اسید به آهن و روی تقریباً مساوی یا بیشتر از ارقام محلی دارند. ترکیب توام آهن + روی به علت بهبود تعداد سنبلچه و تعداد دانه در سنبله عملکرد بیشتری از کاربرد تنهای آنها تولید کرد. کاربرد تیمارهای محلول‌پاشی نسبت مولی فیتیک اسید به آهن و روی را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌دار کاهش داده و درنتیجه قابلیت فراهمی زیستی روی و آهن را بهبود بخشید.

References

1. Abu-Dahi, Y. M., Shati, R. K., and AL-Taher, F. M. 2009. Effect of foliar feeding of iron, zinc and potassium on grain yield, and protein percentage of bread wheat. Iraqi Journal of Agricultural Sciences 40 (4): 27-37.
2. Ali, E. A. 2012. Effect of iron nutrient care sprayed on foliage at different physiological growth stages on yield and quality of some durum wheat (*Triticum durum* L.) varieties in sandy soil. Asian Journal of Plant Sciences 4 (4): 139-149.
3. Ali, S., Khan, R., Mairaj, G., Arif, M., Fida, M., and Bibi, S. 2008. Assessment of different crop nutrient management practices for yield improvement. Australian Journals of Crop Science 2 (3): 150-157.
4. Black, R. E., Allen, L. H., Bhutta, Z. A., Caulfield, L. E., Onis, M. D., Ezzati, M., Mathers, C., and Rivera, J. 2008. Maternal and child undernutrition: global and regional exposures and health consequences. Lancet. 371: 243-260.
5. Boscher, D., Lu, Z., Janssens, G., Van Caillie- Bertrand, M., Rubberiest, H., De, H., and Rycke, H. 2001. In vitro availability of zinc from infant foods with increasing phytic acid contents. British Journal of Nutrition 86: 241-247.

6. Bouis, H. E., and Welch, R. M. 2010. Biofortification: a sustainable agricultural strategy for reducing micronutrient malnutrition in the global south. Crop Science 50: S20-S32.
7. Cakmack, I., and Braun, H. J. 2001. Genotypic variation for zinc efficiency. In: Reynolds, M.P., Ortiz-Monasterio, J.I. and McNab, A. (eds.), Application of Physiology in Wheat Breeding. Mexico, D.F.: CIMMYT.
8. Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agro- nomic or genetic biofortification. Plant and Soil 302: 1-17.
9. Cakmak, I., Kalayci, M., Kaya, Y., Torun, A. A., Aydin, N., Wang, Y., Arisoy, Z., Erdem, H., Yazici, A., Gokmen, O., Ozturk, L., and Horst, W. J. 2010. Biofortification and localization of zinc in wheat grain. Journal of Agricultural and Food Chemistry 58: 9092-9102.
10. Cakmak, I., Torun, A., Millet, E., Feldman, M., Fahima, T., Korol, A., Nevo, E., Braun, H. J., and Ozkan, H. 2004. *Triticum dicoccoides*: Animportant genetic resource for increasing zinc and iron concentration in modern cultivated wheat. Soil Science and Plant Nutrition 50: 1047-1054.
11. Chen, Y., Shi, J., Tin, G., Zheng, S., and Lin, Q. 2004. Fe deficiency induces Cu uptake and accumulation in *Commelia* communis. Plant Science 166: 1371-1377.
12. Daghan, H., Uygur, V., Koleli, N., Arslan, M., and Eren, A. 2013. The effect of heavy metal treatments on uptake of nitrogen, phosphorus and potassium in transgenic and non-transgenic tobacco plants. Tarım Bilimleri Dergisi-Journal of Agricultural Sciences 19: 129-139.
13. Doria, L., Galleschi, L., Calucci, L., Pinzino, C., Pilu, R., Cassani, E., and Nielsen, E. 2009. Phytic acid prevents oxidative stress in seeds: evidence from a maize (*Zea mays* L.) low phytic acid mutant. Journal of Experimental Botany 60 (3): 967-978.
14. Dorostkar, V., Afyuni, M., and Khoshgoftarmanesh, A. 2013. Effects of Preceding Crop Residues on Total and Bio-available Zinc Concentration and Phytic Acid Concentration in Wheat Grain. Journal of Water and Soil Science 17 (64) 81-93. (in Persian with English abstract).
15. El-Habbasha, S. F., Tawfik, M. M., and El-Kramany, M. F. 2013. Comparative efficacy of different bio-chemical foliar applications on growth, yield and yield attributes of some wheat cultivars. World Journal of Agricultural Sciences 9 (4): 345-353.
16. Fan, M. S., Zhao, F. J., Fairweather-Tait, S. J., Poulton, P. R., Dunham, S. J., and McGrath, S. P. 2008. Evidence of decreasing mineral density in wheat grain over the last 160 years. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology 22: 315-24.
17. Fang, Y., Wang, L., Xin, Z., Zhao, L., An, X., and Hu, Q. 2008. Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in China. Journal of Agricultural and Food Chemistry 56: 2079-2084.
18. Ficco, D. B. M., Riefolo, C., Nicastro, G., Simone, V. D., Gesu, A. M. D., Beleggia, R., and Platani, C. 2009. Phytate and mineral elements concentration in a collection of Italian durum wheat cultivars. Field Crop Research 111: 235-242.
19. Godsey, C. B., Schmidt, J. P., Schlegel, A. J., Taylor, R. K., Thompson, C. R., and Gehl, R. J. 2003. Correcting iron deficiency in corn with seed row-applied iron sulfate. Agronomy Journal 95 (1): 160-166.
20. Habib, M. 2009. Effect of foliar application of Zn and Fe on wheat yield and quality. African Journal of Biotechnology 8: 6795-6798.
21. Hambidge, K. M., Miller, L. V., Westcott, J. E., and Krebs, N. F. 2008. Dietary reference intakes for zinc may require adjustment for phytate intake based upon model prediction. The Journal of Nutrition-American Society for Nutrition 2363-2366.
22. Haug, W., and Lantzsch, H. J. 1983. Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereal products. Journal of the Science of Food and Agriculture 34: 1423-1426.
23. Hossain, M. A., Jahiruddin, M., Islam, M. R., and Mian, M. H. 2008. The requirement of zinc for improvement of crop yield and mineral nutrition in the maize-mungbean-rice system. Plant and Soil 306: 13-22.
24. Hussain, N., Khan, M. A., and Javad, M. A. 2005.Effect of foliar application of plant micronutrient mixture on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). Pakistan Journal of Biological Sciences 8 (8): 1096-1099.
25. Karami, M., Afyuni, M., Khoshgoftarmanesh, A. H., Hajabbasi, M. A., Khademi, H., and Abdi, A. 2013. Status and Modeling of Zn in Wheat Grain in Relation to Agroecosystem Parameters of Some Arid and Semi Arid Regions. Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources 17 (64): 119-136. (in Persian with English abstract).
26. Kaya, C., and Higgs, D. 2002. Response of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) cultivars to foliar application of zinc when grown in sand culture at low zinc. Scientia Horticulturae 93 (1): 53-64.
27. Kaya, M., Küçükyumuk, Z., and Erdal, I. 2009. Phytase activity, phytic acid, zinc, phosphorus and protein contents in different chickpea genotypes in relation to nitrogen and zinc fertilization. African Journal of Biotechnology 8: 4508-4513.
28. Khan, M. A., Fuller, M. P., and Baloch, F. S. 2008. Effect of soil applied zinc sulfate on wheat (*Triticum aestivum* L.) grown on a calcareous soil Pakistan. Cereal Research Communications 36 (4): 571-582.

29. Khoshgoftarmanesh, H., Shariatmadari, H., Karimian, N., Kalbasi, M., and Khajehpour, M. R. 2005. Zinc Efficiency of Wheat Cultivars Grown on a Saline Calcareous Soil. Journal of Plant Nutrition 27 (11): 1953-1962.
30. Mahmoudi H., Ksouri, R., Gharsalli, M., and Lachaal, M. 2005. Differences in responses to iron deficiency between two legumes: lentil (*Lens* culinaris) and chickpea (*Cicer* arietinum). Journal of Plant Physiology 162 (11): 1237-1245.
31. Malakouti, M .J. 2007. Zinc is a neglected element in the life cycle of plants. Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology 1 (1): 1-12.
32. Malakouti, M. J. 2010. Why our agricultural products facing zinc deficiency? Proceedings of the 7th International Symposium on Trace Elements in Human: New Perspectives. Trace Elements and Electrolytes 27: 176-177.
33. Malakouti, M. J. 2011. Towards improving the quality of consumed breads in Iran: A Review. Journal of Food Science and Technology 8 (31) 12-21. (in Persian with English abstract).
34. Malakouti, M. J., Keshavarz, P., and Karimian, N. 2008. A comprehensive approach towards identification of nutrients deficiencies and optimal fertilization for sustainable agriculture. Tarbiat Modares University Press. 755 pp. (in Persian).
35. Malakouti, M. J., Malakouti, A., Bybordi, I., and Khamesi, E. 2010. Zinc (Zn) is the neglected element in the life cycle of plant, animal and human health (10th ed.). Technical bulletin No. 007. Soil Science Department-Tarbiat Modares University. Sana Pubication Co. 14 pp. (in Persian).
36. Mekkei, M. E. R., and El-Haggan E. A. M. A. 2014. Effect of Cu, Fe, Mn, Zn foliar application on productivity and quality of some wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). Journal of Agri-Food and Applied Science 2 (9): 283-291.
37. Morris, C.E., and Sands, D.C. 2006. The breeder’s dilemma-yield or nutrition? Nature Biotechnology 24:1078–1080.
38. Ning, N., Liu, Z., Wang, Q., Lin, Z., Chen, S., Wang, S., and Ding, Y. 2009. Effect of nitrogen fertilizer application on grain phytic acid and protein concentrations in Japonica rice and its variations with genotypes. Journal of Cereal Science 50: 49-55.
39. Pahlavan-Rad, M., and Pessarakli, M. 2009. Response of wheat plants to zinc, iron and manganese applications and uptake and concentration of zinc, iron and manganese in wheat grains. Communications in Soil Science and Plant Analysis 40: 1322-1332.
40. Pandey, N., Pathak, G. C., and Sharma, C. P. 2006. Zinc is critically required for pollen function and fertilisation in lentil. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology 20: 89-96.
41. Prasad, A. S. 2003. Zinc deficiency. British Medical Journal 326 (7386): 409-410.
42. Rajabi, R. 2015. Evaluation of Genetic diversity for fertilizer use efficiency in bread wheat genotypes under rainfed Conditions of Iran. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 108: 24-34. (in Persian).
43. Sandberg, A. S. 2002. Bioavailability of minerals in legumes. British Journal of Nutrition 88 (3): 281-285.
44. Seadh, S. E., El-Abady, M. I., El-Ghamry, A. M., and Farouk, S. 2009. Influence of micronutrients foliar application and nitrogen fertilization on wheat yield and quality of grain and seed. Journal of Biological Sciences 9 (8): 851-858.
45. Shivay, Y. S., Kumar, D., and Prasad, R. 2008. Effect of zinc- enriched urea on productivity, zinc uptake and efficiency of an aromatic rice-wheat cropping system. Nutrient Cycling in Agroecosystems 81: 229-243.
46. Stein, A. J. 2010. Global impacts of human mineral malnutrition. Plant and Soil 335: 133-154.
47. Welch, R. M., and Graham, R. 2004. 2004. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. Journal of Experimental Botany 55: 353-364.
48. White, P. J., and Broadley, M. R. 2009. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. New Phytologist 182: 49-84.
49. Zhang Y., Shi, R. M. D., Rezaul, K., Zhang, F., and Zou, C. 2010. Iron and zinc concentrations in grain and flour of winter wheat as affected by foliar application. Journal of Agricultural and Food Chemistry 58: 12268-12274.
50. Zhang, Y. Q., Sun, Y. X., Ye, Y. L., Karim, M. R., Xue, Y. F., Yan, P., Meng, Q. F., Cui, Z. L., Cakmak, I., Zhang, F. S., and Zou, C. Q. 2012. Zinc biofortification of wheat through fertilizer applications in different locations of China. Field Crop Research 125: 1-7.
51. Ziaeian, A. H., and Malakouti, M. J. 2002. Effects of Fe, Mn, Zn and Cu fertilization on the yield and grain quality of wheat in the calcareous soils of Iran. Plant Nutrition 92: 840-841.
52. Zou, C. Q., Zhang, Y. Q., Rashid, A., Ram, H., Savasli, E., Arisoy, R. Z., Ortiz-Monasterio, I., Simunji, S., Wang, Z. H., Sohu, V., Hassan, M., Kaya, Y., Onder, O., Lungu, O., Yaqub Mujahid, M., Joshi, A. K., Zelenskiy, Y., Zhang, F. S., and Cakmak, I. 2012. Biofortification of wheat with zinc through zinc fertilization in seven countries. Plant and Soil 361:119-130.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 2, Summer. 2019, p. 317-326

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸، ص. ۳۲۶-۳۱۷

Effect of Fe and Zn Spraying on Yield and Nutrients Bioavailability of Bread Wheat Cultivars

M. Shiri[1]*, M. Kamrani[2], A. Mehraban[3]

Received: 14-08-2018
Accepted: 03-12-2018

Introduction: Wheat is one of the most important foods for the people in the world. For many Central Asia and Middle Eastern nations, wheat provides ≈50% of the daily energy consumption and the proportion can exceed 70% in rural areas. The production of high-yielding modern cultivars may provide the amount of energy needed by humans, but these cultivars, due to the low concentration of micronutrients such as iron (Fe) and zinc (Zn), are usually deficient and cause health problems. This shortage is intensified in dryland areas due to dryness, alkalinity, and so on. Two-thirds of the total area under wheat cultivation in Iran belongs to rainfed wheat. Declines in the concentration of micronutrients such as Fe and Zn in cereal grain which are often important sources of micronutrients for humans cause several diseases. Agronomic fortification (e.g., fertilizer application) is imperative and necessary for improving micronutrient concentrations in grains in a short period. Phytic acid has a high potential for binding Zn and Fe, making them less bioavailable for humans. If the amount of phytic acid in the wheat grain is high, the absorption of small elements in the intestine decreases. The use of micronutrient fertilizers, such as zinc reduces the amount of phytic acid and enhance grain zinc concentration. Therefore, the purpose of this research was to investigate the role of zinc and iron fertilizers on the performance and quality of modern and local cultivars of bread wheat.

Materials and Methods: To investigate the role of iron and zinc Nano-chelate fertilizers on the improvement of grain yield and elemental composition of bread wheat cultivars, a factorial experiment based on randomized complete block design with three replications arranged in Moghan Agricultural and Natural Resources Research Center, 2015-2016. The first factor was control and spraying with iron, zinc, and iron + zinc. The cultivars included Aftab (G1), Karim (G2) and two new genotypes (G3 and G4). Foliar application of Khazra iron and zinc Nano-chelate fertilizers was carried out at tillering, early of heading and milky stages with a ratio of 2 and 1.5 per thousand, respectively. Iron, zinc, and iron + zinc Nano fertilizers at the rate of 2 kg ha^{-1}, 1.5 kg ha^{-1} and 2 + 1.5 kg ha^{-1} were sprayed at every stage. Ammonium phosphate and urea fertilizers at a rate of 50 kg ha^{-1} from each one of them were applied before planting. Measurement of Fe and Zn elements was carried out at wavelengths of 233.28 and 2333 nm, respectively with the use of the atomic absorption device Shimadzu, AA-6300. Measured traits included a number of spikelets per spike, number of grains per spike, number of seeds per spike, and 1000 grain weight per the main spike, grain yield m^2, zinc concentration, iron concentration, phytic acid, and phytic acid molar ratio to zinc and iron.

Results and Discussion: The results showed that cultivar G1, G2, and G3 produced significantly higher seed yield than G1. This was mainly due to an increase in spikelet number, the number of seeds per spikelet, and/or both. The G1 and G2 cultivars had a higher concentration of zinc in comparison with the new genotypes. Cultivar G1 had the highest Phytic acid and phytic acid to zinc and iron molar ratio, and genotype G4 had the lowest values. Maximum grain yield, Zn and Fe concentrations were obtained at the foliar application of Fe + Zn, Zn, and Fe, respectively. Zinc application had the lowest amounts of phytic acid and phytic acid to Zn molar ratio in comparison with the other spraying levels.

Conclusions: As a result, the foliar application of iron and especially zinc in dryland farms, by improving the bioavailability of iron and zinc and increasing wheat yield, can play a significant role in providing daily energy intake and reducing health risks.

Keywords: Iron concentration, Molar ratio, Phytic acid, Spraying, Zinc concentration

1- Assistant Professor, Moghan College of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2- Associate Professor, Moghan College of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
3- Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, Iran
(*- Corresponding Author Email: Shiri.m@uma.ac.ir)